

Демидко В.Г., к.т.н., Дровнин С.С., Пашинский А.И. (НАУ, Украина)

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ЭТАПАХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Обосновано применение массообменного метода обезвоживания минеральных масел с целью сохранения их качества. Разработана математическая модель массообменного обезвоживания минеральных масел. Получена зависимость, учитывающая конструктивные особенности барботажных устройств, физико-химических свойств жидкости и газа. Определены параметры режимов обработки минеральных масел инертными газами.

Стратегические и оперативные запасы минеральных масел (ММ) в Украине составляют сотни тысяч тонн. Их жизненный цикл (ЖЦ) ограничен нормативными документами [1]. Это обусловлено негативным влиянием воды и растворенного кислорода на эксплуатационные свойства ММ, которые ухудшают эти свойства и выводят показатели качества за пределы требований нормативно-технических документов (НТД) [2,3]. Управление качеством ММ на стадиях ЖЦ направлено на увеличение гарантийных сроков хранения и ресурса их применения при сохранении качества ММ. Управление качеством продукции задача государственной важности, решение которой позволит значительно сократить поставки и расходы на освежение запасов ММ [4].

Работы, посвященные созданию систем качества и нормативной базы по сертификации технологических процессов, сохранению качества горюче-смазочных материалов, химико-топологической надежности и безотказности систем техники, являются актуальными.

Анализ существующих способов и методов обезвоживания ММ показывает, что наиболее эффективным методом является массообменный метод или метод барботажа [5,6]. Если в качестве осушителя использовать инертный газ, то данный способ будет лишен недостатков присущих другим методам обезвоживания ММ [6].

Барботажный слой имеет сложную структуру, так как он не гомогенен, некоторые его физические параметры (например вязкость) не определены, отсутствует фиксированная поверхность раздела фаз, она постоянно меняет свою величину и форму, всплывающие пузыри и струи газа создают мощные циркуляционные токи жидкости, поэтому точное количественное описание барботажного слоя до настоящего времени не разработано [7-9].

Процесс массообмена зависит от особенностей конструкции барботажных устройств [8,9]. Задача проведенных исследований состояла в том, что на основе известных законов газогидродинамики определить параметры барботажа и установить зависимости конструктивных особенностей барботажных устройств, основных физико-химических свойств жидкости и газа. С этой целью разработана математическая модель массообменного обезвоживания минеральных масел, состоящая из трех уравнений:

$$\begin{cases} d\Psi = rU_r d\theta - U_\theta dr, \\ (\bar{U}\nabla)(\nabla^2\Psi) = \nu\nabla^2(\nabla^2\Psi); \\ (\bar{U}\nabla)C_i = D\nabla^2C_i \end{cases} \quad (1)$$

Первое уравнение выражает функцию тока $d\Psi$, то есть количество вещества, проходящего через единицу площади, U_θ и U_r - составляющие скорости U переноса массы влаги в системе «газ-углеводородная жидкость», θ и r - переменные полярной системы координат.

Зависимость между лапласионом ∇ , током Ψ , вектором скорости \bar{U} и коэффициентом кинематической вязкости минерального масла ν , с использованием уравнений Навье-Стокса [10] и Остроградского-Гаусса [11], выражено вторым уравнением.

На основании второго закона Фика [7], выведено третье уравнение, в котором: D – коэффициент диффузии, учитывающий молекулярный и вихревой перенос массы вещества; C_i – концентрацию частиц i -го компонента.

Система (1) удовлетворяет граничным условиям:

$\Psi(r_n; \theta) = 0$ – на границе раздела фаз «газ-жидкость»;

$\Psi(r; \theta) = 0 - U r \sin\theta$ при $r \rightarrow \infty$;

$\Psi(r; -\theta) = \Psi(r; \theta)$ – условие симметрии;

$C(r; \theta) = C_0$ – на границе раздела фаз «газ-жидкость».

Применение системы уравнений (1) при работе реальной системы «газ-углеводородная жидкость» возможно при выполнении необходимых условий [9] и теории размерности [12].

Условие эффективного массообмена: время контакта фаз «газ-жидкость» τ_k должно быть достаточным для завершения диффузионных процессов τ_d , то есть за время всплытия газ, находящийся в пузырьке, насыщается влагой до состояния динамического равновесия. Тогда: $\tau_k > \tau_d; \Rightarrow \Delta\tau = \tau_k / \tau_d$.

Используя аналитические исследования [8,9], закон Стокса [7] и уравнение Эйнштейна, полученное им при анализе броуновского движения, устанавливающая зависимость между неупорядоченным движением молекул и диффузионным потоком [7], установлена зависимость, учитывающая конструктивные особенности барботажного устройства и ФХС жидкости и газа:

$$\Delta\tau \approx \alpha\chi D,$$

где: α – коэффициент, учитывающий конструкцию барботажного устройства; χ – коэффициент, учитывающий ФХС жидкости; D – коэффициент диффузии, учитывающий молекулярный и вихревой перенос массы вещества; τ_d – время завершения диффузионных процессов в системе «газ-углеводородная жидкость».

Тогда условия массообмена: при $\Delta\tau < 1$ массообмен не эффективен; при $\Delta\tau \gg 1$ заведомо завершаются диффузионные процессы (τ_d) за время всплытия газовых пузырьков (τ_k).

Для коррекции полученной зависимости экспериментально найдены [9] диапазоны основных параметров барботажа и барботажных устройств (рис.1-3).

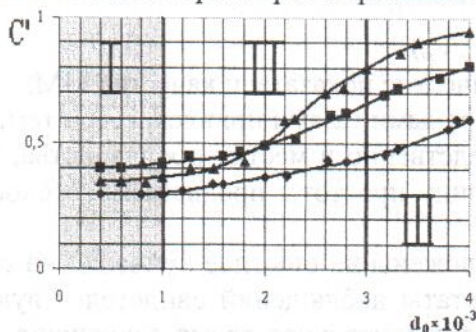


Рис.1. Зависимость интенсивности обезвоживания ММ от выбора одиночных отверстий в барботере d_0 [м], где: I-III – области обезвоживания (I-область интенсивного обезвоживания); - М-8В; - Галол-4042ТД; - АМГ-10.

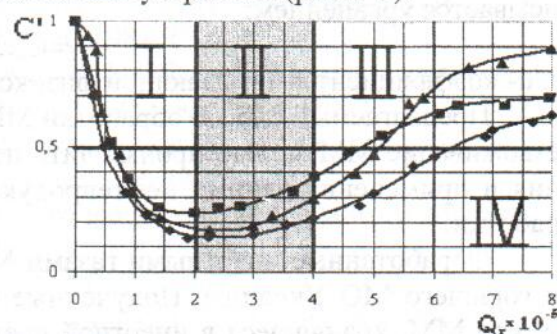


Рис.2. Зависимость интенсивности обезвоживания ММ от расхода газа Q_r [$\text{м}^3/\text{с}$], где: I-IV – области обезвоживания (II-область интенсивного обезвоживания); - М-8В; - Галол-4042ТД; - АМГ-10.

Для удобства сравнения полученных результатов, характеризующих динамику процесса обезвоживания, введен безразмерный показатель C^-1 – фактор влагосодержания [4].

$$C' = C_{\tau}/C_o$$

где: C_{τ} , C_o - текущая и начальная концентрации влаги в жидкой фазе.

Чем меньше значение C' , тем интенсивнее происходит массообмен. Получены зависимости интенсивности обезвоживания от выбора одиночных отверстий в барботере (рис.1) и расхода газа (рис.2), выделены области интенсивного обезвоживания (обл. I, рис.1; обл. II, рис.2) для выбора этих параметров.

Для характеристики, учитывающей объемы жидкой и газовой фаз, введен безразмерный показатель кратность продувки k .

$$k = V_g/V_m$$

где: V_g , V_m - объемы газа и обрабатываемого масла.

Получены зависимости интенсивности обезвоживания от выбора высоты барботажного слоя (рис. 3), где установлена минимальная высота барботажного слоя для эффективного массообмена. Определив основные параметры барботажа и барботажных устройств, исследовано изменение обводненности и газосодержания ММ [4]. Установлены зависимости интенсивности обезвоживания от: времени барботажа, начального влагосодержания, ФХС масел и кратности продувки [4]. Установленные зависимости подтверждают правильность подхода к выбору основных характеристик барботажа (рис.4).

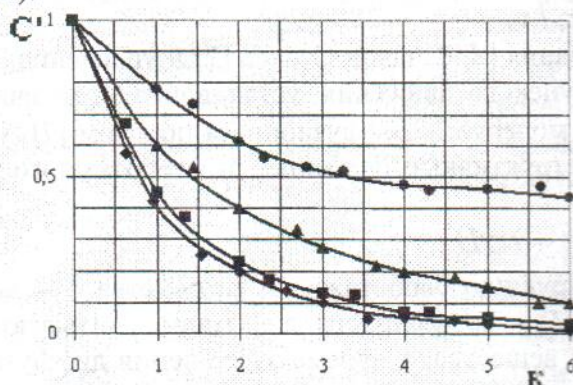


Рис.3. Зависимость интенсивности обезвоживания масла М-8В от высоты барботажного слоя (h_{bi}) и кратности продувки (k_i), где: $h_1=0.1$ м; $h_2=0.2$ м; $h_3=0.3$ м; $h_4=0.4$ м.

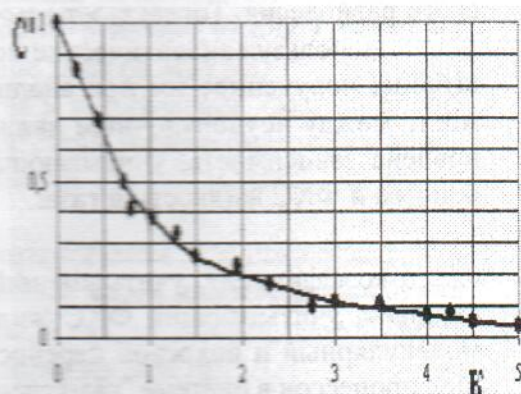


Рис.4. Зависимость изменения концентрации влаги в минеральных маслах от кратности продувки (k_i)

Общая зависимость изменения концентрации воды в ММ от кратности продувки описывается уравнением:

$$C_{\tau} = C_o \exp(-aV_g/V_m)$$

где: a - коэффициент, учитывающий физико-химические показатели качества ММ.

Предлагаемый способ обработки ММ инертными газами привлекателен тем, что обезвоживание ММ можно производить непосредственно в местах производства, хранения и применения данных нефтепродуктов ввиду простоты предлагаемого способа обработки.

Обработанные инертными газами ММ заложены на опытное хранение на складах горючего МО Украины. Полученные результаты наблюдений свидетельствуют о том, что ММ, хранящиеся в инертной среде, более длительное время сохраняют свои ФХС по сравнению с товарными ММ, хранящимися в обычных условиях.

Разработана методика, позволяющая прогнозировать сроки гарантийного хранения минеральных масел.

$$\tau_{гi} = f(KП_i)$$

где: $\tau_{гi}$ - гарантийный срок хранения ММ, согласно требованиям НТД на товарный нефтепродукт; $KП_i$ - комплексный показатель качества ММ.

Прогнозируемый срок гарантийного хранения $\tau_{гi}$ товарного ММ можно определить:

$$\tau'_{гi} = (КП)_i' \times \tau_{гi} / КП_{i(гУ)} = K_{xp} \times \tau_{гi},$$

$$K_{xp} = (КП)_i' / КП_{i(гУ)},$$

где: $(КП)_i'$ – комплексный показатель качества ММ, определяемый согласно методики; $КП_{i(гУ)}$ – комплексный показатель качества ММ, определенный НТД на данный нефтепродукт (например, для моторных ММ - индукционный период осадкообразования)

Полученные результаты обработаны методом математической статистики. С помощью метода регрессии проведена оценка коэффициента K_{xp} , позволяющая сравнивать полученные результаты с данными при реальном хранении ММ. По данным значениям возможно принятие решений о продлении жизненного цикла ММ.

Выводы

На основе предложенной математической модели разработана методика барботажного обезвоживания минеральных масел. Установлена зависимость, учитывающая конструктивные особенности барботажных устройств, физико-химические свойства жидкости и газа, определены основные параметры барботажа.

Обработка и последующее содержание ММ в инертной среде позволяет увеличивать сроки их гарантийного хранения при сохранении качества в пределах требований стандартов.

Разработана методика, позволяющая прогнозировать сроки гарантийного хранения товарных ММ.

На основании разработанных методик возможно: определение параметров барботажа, в зависимости от начальных условий обезвоживания (исходной концентрации воды, физико-химических показателей качества обрабатываемых нефтепродуктов); разработка методик и рекомендаций по определению конструкции барботажных устройств; обоснование необходимости внедрения в практику войск содержания запасов ММ длительного хранения в инертных средах, с целью сохранения качества и увеличения гарантийных сроков хранения; разработка нормативно-технической документации технологических процессов производства, хранения, восстановления качества ММ на этапах их ЖЦ.

Список литературы

1. Лифиц Н.М. Основы стандартизации, метрологии, сертификации. – М.: Юрайт, 2001. – 267с.
2. Аксенов А.Ф. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости. – М.: Транспорт, 1970. – 271с.
3. Гречкин А.М., Белянский В.П., Аксенов А.Ф. Пути повышения надежности и долговечности топливных, масляных и гидравлических систем самолетов. – В кн.: Наука и техника гражданской авиации. – М.: ЦНТИГА, 1981, С. 6-8.
4. Дровнін С.С., Гречкин О.М., Архипцев О.В. Проблеми збереження якості мінеральних оліїв та гідролічних рідин //Вісник НАУ №1(12), –К.: НАУ, 2002. – С. 219-223.
5. McFall J., Van Bocxlaer M. Centrifugal purification service gets transmission plant out of hot water //Lubricants World. – 2002. – 12. - №3. – P. 24-26.
6. Дровнін С.С. Способи зневоднення нафтопродуктів //Матеріали III Міжнар. наук.-техн. конф. «АВІА – 2001» 24-26 квіт. 2001р. – К.: НАУ, 2001. Т. IV. – С. 12.44-12.46.
7. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высшая школа, 1972. – 496с.
8. Протодьяконов И.О., Люблинская И.Е. Гидродинамика и массообмен в системах газ-жидкость. АН СССР. - Л.:Наука ЛО, 1991.- 349 с.
9. Дровнін С.С., Терехин В.И. Определение основных параметров барботажа обводненных минеральных масел и гидравлических жидкостей различными газами //Матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф. «АВІА – 2003» 23-25 квіт. 2003р. – К.: НАУ, 2003. Т. IV. – С. 41.105-41.112.
10. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824с.
11. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. – 847с.
12. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М: Наука, 1967. – 428 с.